Bijlage 2 rapportage piekafvoer bij Lobith- leeswijzer

In het Deltaprogramma 2015 is 18.000 m3/s bij Lobith in 2100 als beleidsmatig uitgangspunt genoemd. Een van de vragen tijdens het AO Water van 24 juni jl. was of het uitgangspunt van de 18.000 m3/s niet genuanceerd dient te worden vanwege het effect van overstromingen in Duitsland. Deze overstromingen zijn van invloed op de hoogte van de afvoer in Nederland. Hieronder volgt een synthese van de technische kennis en keuzen die gemaakt zijn rond de rivierafvoer, inclusief een overzicht van de relevante rapporten. In de periode dat de rapporten tot stand gekomen zijn is sprake van voortschrijdend inzicht. Deze synthese geeft de laatste stand van zaken. In de individuele rapporten worden deelaspecten belicht waardoor de figuren en tabellen niet altijd direct vergelijkbaar zijn met deze synthese. Zo wordt in het rapport over de KNMI 2014 scenario's geen rekening gehouden met het effect van noodmaatregelen in Duitsland.

Het bepalen van (maatgevende) rivierafvoeren

Oude methode

Tot en met de toetsronde in 2011 is de te verwachten maatgevende rivierafvoer bepaald op basis van de gemeten piekafvoeren bij Lobith sinds 1901. Bij de overschrijdingskansbenadering in het bovenrivierengebied was de afvoer die gemiddeld eens in de 1250 jaar voorkomt, maatgevend voor het beoordelen van de standzekerheid en voor het ontwerp van waterkeringen. Dit betrof de waterstand die onze dijken moesten kunnen keren. Om de afvoer te bepalen die eens in de 1250 jaar plaats kon vinden, werd de afvoerlijn geëxtrapoleerd. Op deze wijze is de maatgevende afvoer van 16.000 m3/s bepaald. Deze extrapolatiemethode kent echter de volgende nadelen:

- Er is geen fysische achtergrond van de extrapolatie. Het is een zuiver statistische aangelegenheid die geen rekening houdt met fysische grenzen.
- grote veranderingen die de afgelopen eeuw hebben plaatsgevonden hebben een verstorend effect op de statistiek.
- De invloed van klimaatverandering kan niet goed meegenomen worden.

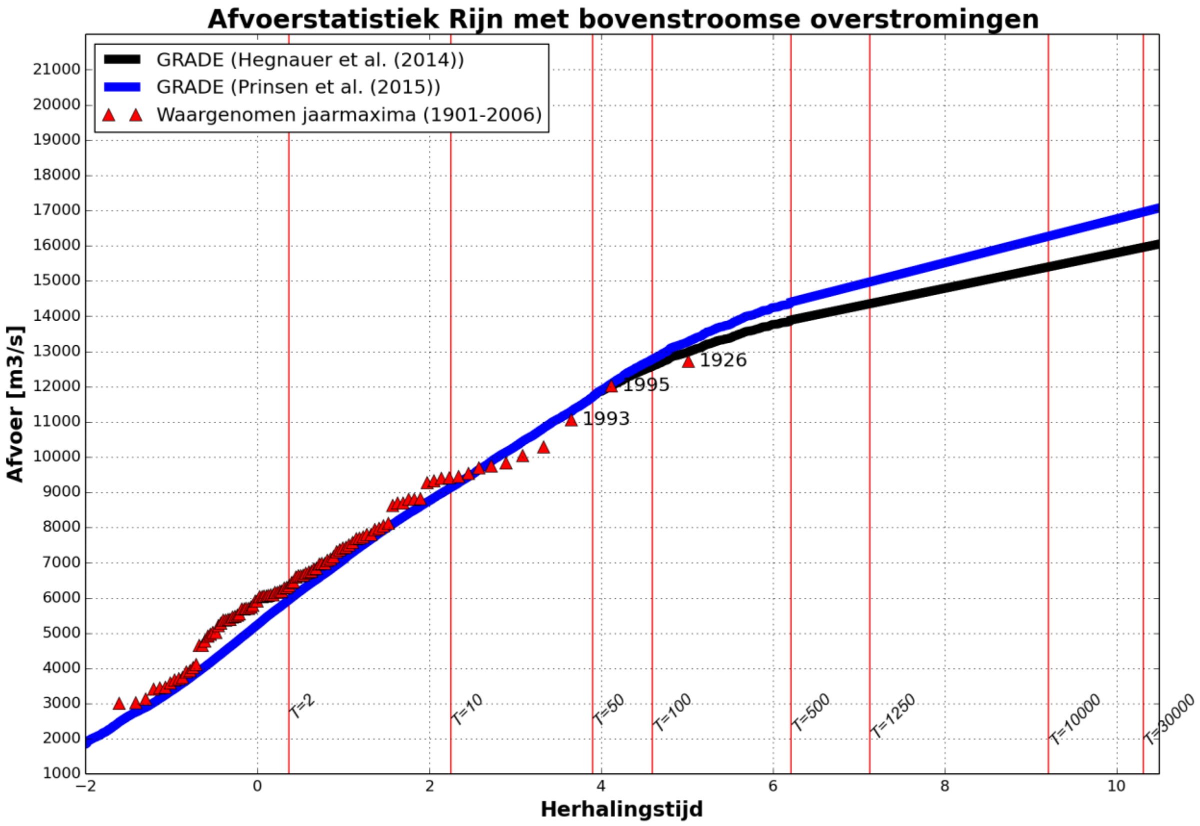
Nieuwe methode

Met de overgang naar een overstromingskansbenadering wordt met de nieuwe normering voor het rivierengebied gekeken naar overstromingskansen van 1/10.000 tot 1/30.000 (plaatselijk zelfs 1/100.000). Om de piekafvoeren te bepalen die bij zulke kleine kansen horen zou met de oude methode veel verder geëxtrapoleerd moeten worden. Hoe verder geëxtrapoleerd wordt, hoe groter de statistische onzekerheid wordt. Ook gaan bovengenoemde bezwaren van de oude methode veel harder doortellen met name dat de grenzen van het fysieke systeem niet meegenomen worden Denk hierbij aan de overstromingen in Duitsland.

Conform het advies van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) wordt vanaf nu het instrument GRADE (Generator of Rainfall and Discharge Extremes) gebruikt voor het berekenen van huidige en toekomstige extreme afvoeren voor het toetsen en ontwerpen. De overstap naar dit model betekent een belangrijke verbetering in het bepalen van extreme rivierafvoeren. In plaats van alleen te kijken naar opgetreden afvoeren in het verleden en die te extrapoleren, kan nu de neerslag in het hele stroomgebied gesimuleerd worden. Extreme rivierafvoer treedt op als de combinatie van neerslag in verschillende delen van het stroomgebied ongunstig uitpakt. De kans hierop kan met GRADE berekend worden.

De methodiek bestaat uit drie aaneengeschakelde modellen. Het eerste model bepaalt de neerslaggegevens over een periode van 50.000 jaar. Een tweede model bepaalt vervolgens hoe de neerslag naar de rivier toestroomt. In dit hydrologische model worden verdamping en berging in het grondwater meegenomen. Het derde model berekent tenslotte hoe het water door de Rijn naar Nederland stroomt. Hierbij wordt in tegenstelling tot de oude methode rekening gehouden met overstromingen in Duitsland. Ook wordt rekening gehouden met onzekerheden in neerslag, hydrologie (hoeveel van de neerslag gaat de bodem in en hoeveel stroomt via beken en zijrivieren

naar de Rijn) en hydraulica (het gedrag van de afvoergolf in de rivier) en het feit dat Duitsland bij een dreigende overstroming noodmaatregelen kan treffen die een dijkdoorbraak voorkomen.



Figuur 1 Afvoerstatistiek Rijn, huidige klimaat met overstromingen in Duitsland. Zonder noodmaatregelen en onzekerheden(zwarte lijn) en met noodmaatregelen en onzekerheden (blauwe lijn)

Maximale rivierafvoer bij Lobith

Bij de berekening van de maximale afvoercapaciteit van de Rijn zijn mogelijke overstromingen in Duitsland meegenomen en is rekening gehouden met de hierboven genoemde onzekerheden. Echter, uit de berekeningen met GRADE bleek dat bij hele hoge herhalingstijden de piekafvoeren mogelijk worden overschat, omdat overstromingen in Duitsland in het laatste deel tot aan de grens niet adequaat zijn gemodelleerd. De bepaling van het maximum debiet dat door dat deel van de Rijn kan stromen, is daarom separaat gedaan. Hierbij kan de Rijn worden voorgesteld als een goot: hoeveel water kan er maximaal door de goot stromen, voordat het ergens over de rand gaat.

Maximale afvoer zonder noodmaatregelen

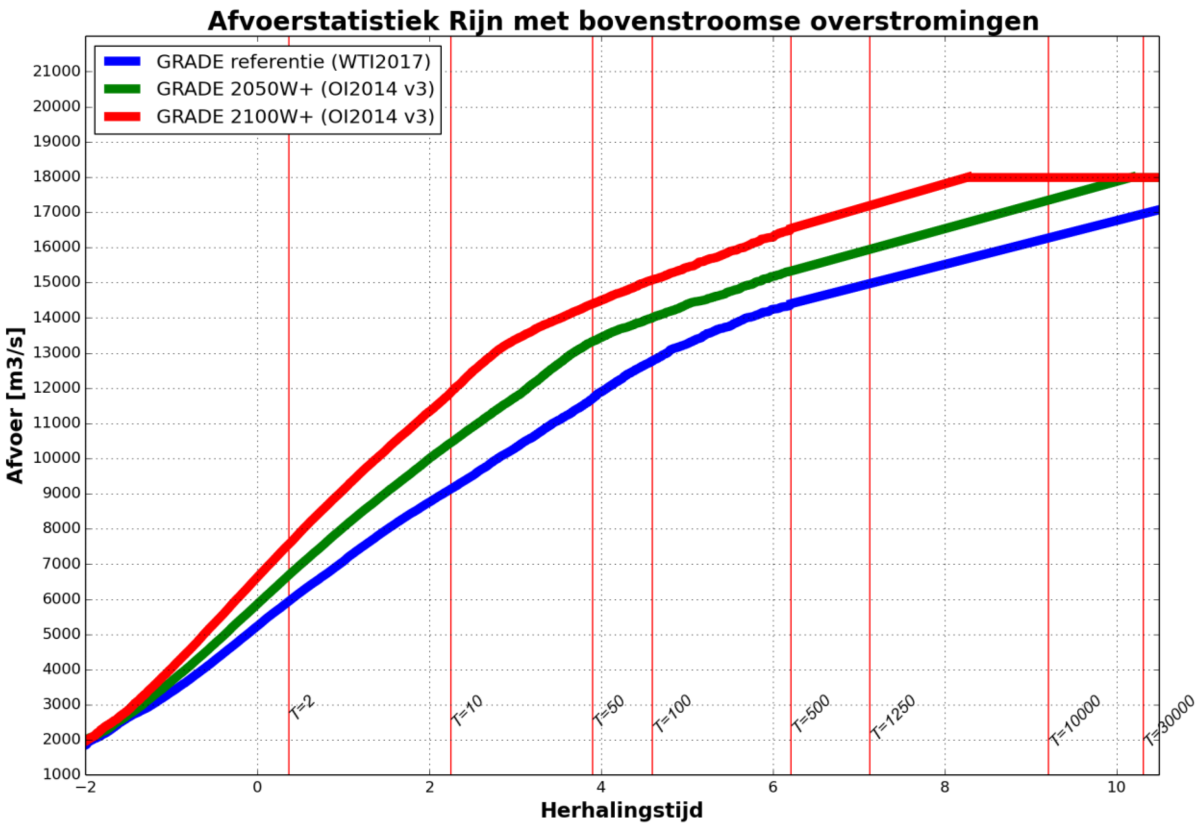
In een studie uit 2004 is de afvoercapaciteit van de Duitse Neder-Rijn door Duitse experts geschat op 17.500 m3/s. In 2014 is [in het kader van GRADE] een studie gedaan met het Nederlandse waterbewegingsmodel Waqua die op een vergelijkbaar getal voor de afvoercapaciteit tussen Wesel en Lobith uitkomt. Dit betreft de afvoercapaciteit zonder noodmaatregelen.

Maximale afvoer met noodmaatregelen

Conform het advies van het ENW is het effect van noodmaatregelen en onzekerheden bepaald voor de huidige situatie . Dit kan – afhankelijk van de aannames waarvoor wordt gekozen - tot een verhoging leiden van de afvoer met maximaal circa 1000 m3/s. (dit is te zien in figuur 1, zwarte lijn Grade zonder onzekerheden en noodmaatregelen blauwe lijn met).
Rekening houdend met deze verhoging van circa 1000 m3/s is op basis van de meest recente inzichten de afvoer die bij Lobith ons land binnen kan komen maximaal 18.500 m3/s. Meer dan

18.500m3/s lijkt fysiek niet mogelijk, omdat dan de Duitse dijken, zelfs als deze met zandzakken versterkt zijn, zullen overstromen. Bij deze maxima is uitgegaan van de verbetering van de Duitse dijken die nu in het Duitse dijksaneringsprogramma tot 2025 zijn opgenomen. Er wordt nog gewerkt aan de verbetering van GRADE (zie paragraaf toekomst). Mogelijk kunnen de onzekerheden daarmee verder worden gereduceerd.

De beleidsmatige keuze is daarom gemaakt om voorlopig uit te gaan van een maximum debiet van 18.000 m3/s dat Lobith kan bereiken (zie figuur 2).



Figuur 2 Afvoerstatistiek Rijn, huidige klimaat en KNMI 2006 W+ klimaat voor 2050 en 2100 met overstromingen in Duitsland. Met noodmaatregelen en onzekerheden

Consequenties voor beoordelen en ontwerpen van keringen

De afvoer is een van de aspecten waarmee rekening wordt gehouden bij het beoordelen en ontwerpen van de waterkeringen. Hierbij wordt met de nieuwe overstromingsrisicobenadering niet meer uitgegaan van één maatgevende piekafvoer, maar van een range van afvoeren.

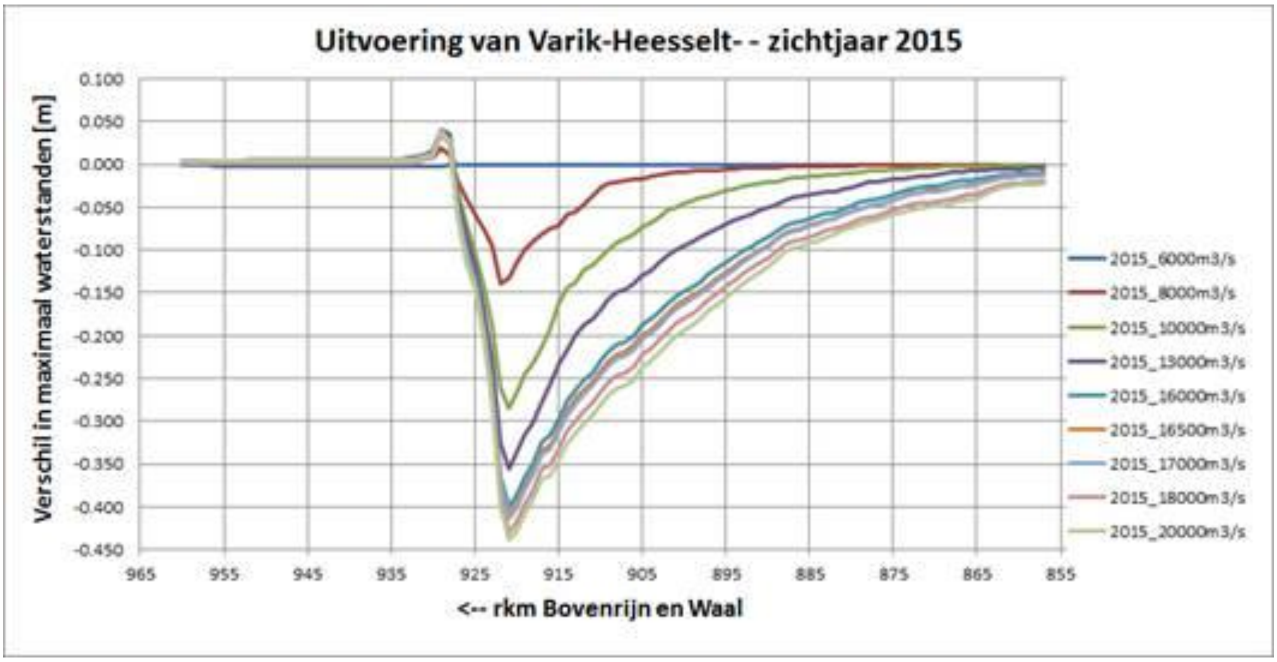
Beoordelen van waterkeringen

Bij de komende beoordelingsronde van de waterkeringen wordt beoordeeld of de keringen in 2023 aan de norm voldoen. Hierbij wordt uitgegaan van de belastingsituatie in 2023, en wordt klimaatverandering niet in beschouwing genomen. Bij een kans van voorkomen van 1:10.000 tot 1:30.000 per jaar in het huidige klimaat horen piekafvoeren tussen de 16.000 en 17.000 m3/s bij Lobith (zie blauwe lijn figuur 2).

Ontwerpen van waterkeringen

Bij het ontwerpen van de waterkeringen wordt met het oog op de levensduur van de waterkering rekening gehouden met de effecten van mogelijke klimaatverandering Hierbij is gekozen om in het voorlopige ontwerpinstrumentarium (versie 2016) uit te gegaan van het KNMI 2006 W+ scenario. Bij het ontwerpen wordt gekeken naar de mogelijke piekafvoer in 2050 en verder. Met het GRADE model zijn de effecten van het KNMI 2006 W+ scenario berekend voor 2050 en 2100. Voor het ontwerp voor 2050 moet bij een kans van voorkomen van 1/10.000 tot 1/30.000 jaar nu rekening worden gehouden met afvoeren tussen de 17.000 en 18.000 m3/s. In 2100 wordt het volgens dit scenario de maximum afvoer van 18.000 m3/s. Bij het beoordelen en ontwerpen van keringen, wordt gekeken naar een combinatie van waterstand en de wind (-golven) . Op veel plekken langs de rivieren blijkt dat naast de extreme afvoeren ook lagere afvoeren in combinatie met storm van belang zijn bij het bepalen van de sterkte en hoogte van de kering.

Consequenties voor rivierverruiming
Het effect van rivierverruiming wordt beïnvloed door de rivierafvoer. Dat effect is gradueel. Er is geen harde grens waar rivierverruiming wel en niet nuttig of noodzakelijk zou zijn. Ter illustratie is onderstaand de waterstandsdaling weergegeven als gevolg van de maatregel hoogwatergeul Varik-Heesselt.



Figuur 3. *Waterstandsverlaging in 2015 door inzet hoogwatergeul Varik-Heesselt [Vuren, et al., juli 2015]*

Uit figuur 3 blijkt dat het verschil in de waterstandsdaling bij debieten tussen 16.000 en 18.000 m3/s beperkt is. Als er op een riviertraject rivierverruiming en dijkversterking plaatsvindt, dan wordt er bij de dijkversterking (en eventuele -verhoging) rekening gehouden met de waterstandsdaling. Het is zaak om de combinatie dijkversterking en rivierverruiming te optimaliseren, vandaar het "krachtig samenspel".

Toekomst

Doorwerking van nieuwe klimaatscenario's in het ontwerpen van waterkeringen

In de uitgangspunten van het Deltaprogramma en het Nationaal Waterplan worden de KNMI 2006 scenario's gehanteerd. Voor ontwerpen van de waterkeringen is op dit moment (in overeenstemming met de Deltabeslissing Waterveiligheid) gekozen om uit te gaan van het KNMI 2006 W+ scenario. W+ is binnen de KNMI 2006 scenario's het scenario met de hoogste temperatuurstijging en in de winter de hoogste toename van de neerslag. Dit resulteert binnen de 4 KNMI 2006 scenario's in de hoogste winterafvoeren.
In 2014 heeft het KNMI op basis van de nieuwste inzichten een nieuwe set van vier scenario's gepresenteerd, KNMI 2014 genaamd. Het voordeel van de KNMI 2014 scenario's is dat die nu specifiek zijn voor deelgebieden van het stroomgebied van de Rijn. Voor de nieuwe klimaatscenario's zijn met behulp van GRADE de afvoeren van de Rijn en de Maas berekend en vergeleken met de KNMI 2006 scenario's. In alle scenario's wordt het gemiddeld veel natter dan nu, maar vooral in de winter. Alle scenario's wijzen op sterk toenemende hoeveelheden extreme neerslag in de stroomgebieden. Tot 2050 bevestigen alle vier de KNMI 2014 scenario's het beeld van het meest extreme KNMI 2006 W+ scenario. De mogelijke piekafvoeren wijken in de vier nieuwe scenario's niet tot nauwelijks af van het W+ scenario.
Voor het zichtjaar 2085 is wel een verschil tussen de scenario's te zien. Één van de nieuwe klimaatscenario's geeft piekafvoeren die hoger zijn dan het W+ scenario; drie liggen er onder.

Voor de volgende versie van het ontwerpinstrumentarium (2018) zal een beleidsmatige keuze worden gemaakt op welke wijze de nieuwe klimaatscenario's betrokken worden bij ontwerpen van waterkeringen.

Doorontwikkeling GRADE
Een van de pijlers van het nieuwe waterveiligheidsbeleid is adaptief deltamanagement. Dit betekent dat voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen en het nemen van rivierverruimende maatregelen, steeds gebruik gemaakt wordt van de meest actuele inzichten die beschikbaar zijn. Er wordt door IenM continue gewerkt aan het optimaliseren van het beoordelingsinstrumentarium en handreikingen voor ontwerpen. Dat geldt ook voor de onderliggende modellen, waaronder GRADE.
Voor de range van afvoeren die nu nodig zijn voor het beoordelen van waterkeringen beschrijft het instrument GRADE de afvoer goed. Zoals gezegd overschat GRADE echter bij zeer hoge herhalingstijden de mogelijke toekomstige piekafvoeren, omdat het laatste deel van de Rijn in Duitsland nog niet adequaat in GRADE is gemodelleerd. Conform het advies van het ENW wordt gewerkt aan de verbetering van het GRADE model, zodat onder andere deze overschatting in het extreme bereik wordt gecorrigeerd en de hierboven beschreven handmatige correctie niet meer nodig is. Verder wordt ernaar gestreefd de onzekerheden te verkleinen. De uitkomsten van GRADE worden met Duitse experts zorgvuldig overlegd.

Het aangepaste GRADE is tijdig beschikbaar voor de volgende versie van het ontwerphandreiking 2018. Dan kan een definitieve keuze worden gemaakt over de te hanteren afvoerlijn bij ontwerpen, inclusief de te hanteren klimaatscenario's

Duitsland
Beleid

Duitsland houdt in haar hoogwaterbeleid voor de Rijn nog geen rekening met klimaatverandering en hanteert lagere herhalingstijden dan Nederland. Hier horen ook andere afvoeren bij. Noordrijn-Westfalen hanteert voor haar dijken vlak bij de grens een overschrijdingskans van 1:500 jaar; in Nederland is dit 1:1250 jaar op basis van de huidige overschrijdingsnorm. In praktijk zijn de Duitse dijken in de buurt van de grens bij Lobith in hoogte vergelijkbaar met de Nederlandse dijken omdat Duitsland strengere ontwerpeisen en een hogere waakhoogte hanteert. Verder benedenstrooms (vanaf Bonn, bij Keulen) hanteert Duitsland lagere overschrijdingsnormen, waardoor hier eerder overstromingen plaatsvinden. Deze overstromingen zijn meegenomen in GRADE.

In Nederland wordt met de nieuwe overstromingsbenadering uitgegaan van hoge herhalingstijden. Bij de nieuwe normen horen in het rivierengebied overstromingskansen van 1:10.000, 1:30:000 en in een enkel geval zelfs 1:100.000 jaar, omdat bij een overstroming de gevolgen in termen van slachtoffers en materiële schade zo groot zijn. In het licht van de nieuwe normering doet Nederland samen met Noordrijn-Westfalen onderzoek naar het overstromingsrisico in het grensgebied. In dit onderzoek worden de wederzijdse gevolgen van dijkdoorbraken in het grensgebied meegenomen. De resultaten worden in de tweede helft van 2017 verwacht.

Mogelijke maatregelen in de toekomst
Via de Internationale Rivierencommissie heeft Nederland met de bovenstroomse landen afspraken gemaakt over de te nemen waterstandsverlagende maatregelen in het Rijnstroomgebied. Dijkverbetering vlak over de grens in Duitsland helpt voorkomen dat Nederland via de zogenaamde achterdeur overstroomt. Noordrijn-Westfalen is nu bezig haar dijken in het grensgebied te verbeteren.
Deze en andere toekomstige maatregelen in Duitsland hebben een effect op de hoeveelheid water die ons land binnen of buiten de dijken kan bereiken. Dit is meegenomen bij het inschatten van de maximale afvoer bij Lobith.

Concluderend

- Voor het bepalen van toekomstige piekafvoeren wordt gebruik gemaakt van de best beschikbare techniek. Conform het advies van het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) wordt voor het beoordelen en ontwerpen van de waterkeringen vanaf nu het instrument GRADE gebruikt. Hierdoor kunnen toekomstige extreme rivierafvoeren nauwkeuriger worden bepaald dan voorheen.
- Effecten van onzekerheden en klimaatverandering kunnen met GRADE goed in beeld worden gebracht. In het extreme bereik overschat GRADE echter mogelijk de afvoeren door het niet adequaat modelleren van overstromingen in Duitsland in het laatste deel tot aan de grens.
- In verband daarmee is beleidsmatig gekozen voorlopig bij het ontwerpen uit te gaan van een maximale rivierafvoer van 18.000 m3/s die ons land kan bereiken.
- Bij de aanstaande beoordeling van de waterkeringen ten opzichte van de nieuwe normen zijn afvoeren tot circa 17.000 m3/s relevant.
- Bij ontwerpen met een levensduur tot 2100 zijn afvoeren tot 17.000 a 18.000 m3/s relevant, rekening houdend met een W+ klimaatscenario. Op veel plekken langs de rivier zijn iets lagere afvoeren in combinatie met wind echter meer bepalend voor het ontwerp van de kering dan de maximale afvoer.
- Voor rivierverruiming zijn dezelfde afvoeren relevant als voor dijkversterking. De waterstandsverlaging door rivierverruiming treedt zowel op bij extreem hoge als bij lagere rivierafvoeren. Als verruiming toegepast wordt dan heeft dat effect op de hoogteopgave voor de dijken en het dijkontwerp.
- Het instrumentarium wordt periodiek verbeterd. Conform het advies van het ENW wordt GRADE verbeterd in het extreme bereik door overstromingen in Duitsland vanaf de grens tot aan Emmerich adequaat mee te nemen.
- Het aangepaste GRADE is tijdig beschikbaar voor de volgende versie van het ontwerphandreiking 2018. Ook zal dan een beleidskeuze worden gemaakt over de te hanteren KNMI 2014 klimaatscenario's.

Overzicht relevante rapporten

- Lammersen (2004), *Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein*. ISBN 9036956390, RIZA, Arnhem http://www.nifv.nl/upload/89844_668_1175786909265-Grensoverschrijdende_effecten_(2004)_-_Ministerie_van_Verkeer_en_Waterstaat.pdf

- Paalberg A. (2014), *GRADE Niederrhein-dijkoverstroming versus dijkdoorbraak* – Rapport HKV, kenmerk PR2942.10 http://dtvirt35.deltares.nl/products/30871

- Hegnauer M., Beersma J.J., Van den Boogaard H.F.P., Buishand T.A., Passchier R.H. (2014). *Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins; Final report of GRADE 2.0* – Rapport Deltares http://kennisonline.deltares.nl/product/30735

- Prinsen (2015), *Onzekerheidsanalyse hydraulica in GRADE* – Deltares rapport, kenmerk 1220082-010-HYE-0001. http://dtvirt35.deltares.nl/products/30862

- ENW advies GRADE en afvoerstatistiek (2015), http://www.enwinfo.nl/images/pdf/adviezen-2015/ENW-15-04-Advies-GRADE-en-afvoerstatistiek.pdf

- Frederiek Sperna Weiland, Mark Hegnauer, Laurene Bouaziz and Jules Beersma (2015), *Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse, comparison with earlier scenario studies, Deltares* (1220042-000) http://dtvirt35.deltares.nl/products/30869

- Frans Klijn, Mark Hegnauer, Jules Beersma, Frederiek Sperna Weiland (2015), *Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren, Deltares en KNMI*. http://dtvirt35.deltares.nl/products/30870